Vol.11, No.3, Fall 2022, pp.285-309 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2021.72853.1117 Open access

The Analysis and Leveling of Key Drivers Affecting the Increase of Physical Resilience in Tehran against Earthquakes using Interpretive Structural Modeling (Case Study: District 10)

Amin Latifi[a], Keramatollah Ziari[b*], Seyyed Majid Nader[c]

[a] *PhD Candidate in Urban Planning, Arts and Architecture Faculty, Islamic Azad University, West Tehran Branch, Tehran, Iran*
[b] *Professor in Geography and Urban Planning, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran*
[c] *Assistant Professor in Urban Planning, Arts and Architecture Faculty, Islamic Azad University, West Tehran Branch, Tehran, Iran*

Received: 3 October 2021 ***Revised: 27 November 2021*** ***Accepted: 1 December 2021***

Abstract

Resilience is a new approach for assessing and enhancing the resilience of cities' development foundations. The purpose of this research is to model the key drivers effective in increasing the physical resilience of the district 10 of Tehran against earthquakes with a futuristic approach and designing the relationships between the key drivers. This study was conducted using descriptive-analytical method, and the key drivers affecting the increase of physical resilience were identified using content analysis method. In the modeling section, through Delphi method, the opinions of academic experts of physical resilience were obtained. Interview and a questionnaire were used to collect data. The validity of the questionnaire was evaluated using face validity criteria. Relationships between the key drivers affecting the increase of physical resilience of the studied sample against earthquakes were determined and analyzed by the interpretive structural modeling (ISM) method. Finally, using Micmac analysis, the key effective drivers were identified and classified in six levels according to their impact on other factors. The results show that the driver "granulation class" has the highest penetration force and is infrastructure and the main stimulus of urban physical resilience. Any action to increase the physical resilience of the sample against earthquakes requires modifications in this driver. Service distribution and the strength of public buildings have the least impact with 1 and 3 penetration force, respectively. The results also show that elements at higher levels have less stimulating power and more dependence.

Keywords: Key Drivers, Physical Resilience, Earthquake, Interpretive Structural Modeling, District 10 of Tehran

[*]. Corresponding author: Keramatollah Ziari E-mail: zayyari@ut.ac.ir Tel: +989121260602

How to cite this Article: Latifi, A., Ziari, K., & Naderi, S. M. (2022). The analysis and leveling of key drivers affecting the increase of physical resilience in Tehran against earthquakes using interpretive structural modeling (Case study: District 10). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *11*(3), 285-309.

DOI: 10.22067/geoeh.2021.72853.1117

Geography and Environmental Hazards
Volume 11, Issue 3 - Number 43, Fall 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.72853.1117

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شمارهٔ چهل و سوم، پاییز ۱٤۰۱، صص ۳۰۹-۲۸۵

مقاله پژوهشی

تحلیل و سطح‌بندی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با استفاده از مدل‌سازی ساختاری-تفسیری ISM (مورد پژوهی: منطقه ۱۰)[۱]

امین لطیفی- دانشجوی دکتری تخصصی شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
کرامت‌اله زیاری[۲]- استاد برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
سید مجید نادری- استادیار شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۷/۱۱ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۰/۹/٦ تاریخ تصویب: ۱٤۰۰/۹/۱۰

چکیده

تاب‌آوری رویکردی نو در راستای ارتقای ظرفیت مانایی و تحمل‌پذیری بنیان‌های توسعه در شهرهاست. هدف از پژوهش پیش‌رو مدل‌سازی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۰ تهران در برابر زلزله با رویکرد آینده‌نگاری و طراحی ارتباطات بین این پیشران‌ها است. پژوهش حاضر با روش توصیفی-تحلیلی انجام شده و پیشران‌های کلیدی موردبحث با روش تحلیل محتوا شناسایی شده‌اند. در بخش مدل‌سازی، از آرای خبرگان دانشگاهی در حوزه تاب‌آوری با روش دلفی استفاده شده است. داده‌ها با ابزار مصاحبه و پرسشنامه دوبه‌دویی جمع‌آوری و با استفاده از ملاک روایی صوری، روایی پرسشنامه سنجیده شده است. روابط بین پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعه در

---

۱ مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول تحت عنوان «آینده‌نگاری سناریومبنا به منظور تبیین مؤلفه‌های افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در مقابله با زلزله (نمونه موردی: منطقه ۱۰)»، به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب است.

۲ نویسنده مسئول ۰۹۱۲۱۲٦۰٦۰۲ Email: zayyari@ut.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

لطیفی، امین؛ زیاری، کرامت اله؛ نادری، سید مجید. (۱٤۰۱). تحلیل و سطح‌بندی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با استفاده از مدل‌سازی ساختاری-تفسیری ISM (مورد پژوهی: منطقه ۱۰). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۱(۳). صص۳۰۹-۲۸۵

https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.72853.1117

برابر زلزله با استفاده از روش مدل‌سازی ساختاری-تفسیری (ISM) تعیین و به‌صـورت یکپارچـه تحلیـل شده است. درنهایت با استفاده از تحلیل میک‌مـک (Micmac) نـوع پیشـران‌هـای کلیـدی بـا توجـه بـه اثرگذاری و اثرپذیری آن‌ها بر سایر عوامل مشخص و در شش عرصه، سطح‌بندی شده‌اند. نتـایج پـژوهش نشان می‌دهد که پیشران "کلاس دانه‌بندی" با بیشترین قـدرت نفـوذ، زیربنـا و محـرک اصـلی تـاب‌آوری کالبدی شهری بوده و هرگونه اقدام برای افزایش تـاب‌آوری کالبـدی نمونـه موردمطالعـه در برابـر زلزلـه، مستلزم اصلاحات در این پیشران است. پیشـران‌های "توزیـع خـدمات" و "اسـتحکام بناهـای بـا کـاربری عمومی" نیز به ترتیب با میزان قدرت نفوذ ۱ و ۳ کمترین تأثیر را در تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعـه دارند. همچنین نتایج پژوهش حاکی از این است که عناصر در سطوح بالاتر، قدرت تحریک‌کنندگی کمتـر و میزان وابستگی بیشتر دارند.

کلیدواژه‌ها: پیشران‌های کلیدی، تاب‌آوری کالبدی، زلزله، مدل‌سازی ساختاری-تفسیری، منطقه ۱۰ تهران.

۱- مقدمه

تاب‌آوری یک مفهوم کلیدی به‌منظور عملی نمودن پایداری است و بیان می‌کند که چگونـه یـک نظـام در برابـر اختلالات وارده ایستادگی می‌کند و به تعادل می‌رسد و یا خود را با شرایط جدید سازگار می‌نماید (نبـوی رضـوی و همکاران، ۱۳۹۷). این مفهوم در واقع به‌عنوان بازگشت سریع بعد از تنش، تحمل تنش بیشتر و کاهش تخریب در اثر مقدار معینی از تنش تعریف شده است (آقامحمدی و غیاثوند، ۱۳۹۷). در طی دو دهه اخیـر بـا افـزایش بحـران‌هـا، تاب‌آوری شهرها و مناطق در مقابل مخاطرات طبیعی و انسانی موردتوجه ویژه‌ای قرار گرفته است. اگرچه اجتماعات می‌توانند برخی از پیامدهای مربوط به مخاطرات را پیش‌بینی نمایند ولـیکن بسـیاری از اثـرات ناشـناخته و غیرقابـل پیش‌بینی هستند (گاندرسون[1]، ۲۰۱۰). همچنین خسارت‌های ناشی از مخاطرات طبیعی همچون زلزلـه بـه محـیط و کالبد شهرها سبب شده مفهوم تاب‌آوری برای کاهش آثار سوانح به حوزه‌ای مهم در عرصه مـدیریت بحـران تبـدیل شود. بدیهی است در شرایطی که ریسک و عدم قطعیت‌ها در حال رشد هستند، تاب‌آوری به‌عنوان مفهوم مواجهه بـا اختلالات، غافلگیری‌ها و تغییرات معرفی می‌شود (محمدی و منوچهری، ۱۳۹۷). نوع نگرش بـه مقولـه تـاب‌آوری و نحوه تحلیل آن، از یک طرف در چگونگی شناخت تاب‌آوری وضع موجود و علل آن نقش کلیدی دارد و از طـرف دیگر سیاست‌ها و اقدامات تقلیل خطر و نحوه رویارویی با آن را تحت تأثیر اساسی قرار می‌دهد (غفاری و همکاران، ۱۳۹٦). در واقع هدف از این رویکرد کاهش آسیب‌پذیری شهر و تقویت توانـایی‌هـای شـهروندان بـرای مقابلـه بـا خطرات ناشی از تهدیدات مخاطرات طبیعی از قبیل زلزله است (میتچل و هریس[2]، ۲۰۱۲).

---

1 Gunderson
2 Mitchell & Harris

با نگاه اجمالی به اسناد فرادست شهر تهران ازجمله طرح راهبردی-ساختاری توسعه و عمران (طرح جامع جدید تهران-۱۳۸۶)، سقف جمعیت‌پذیری شهر در این طرح در افق ۱۴۰۵ شمسی برابر با ۱۰,۵ میلیون نفر تعیین شده است، اما بر اساس سرانه‌های استاندارد کاربری اراضی شهری، ظرفیت جمعیت‌پذیری تهران حدوداً شش میلیون نفر است و توان پاسخ‌دهی محیطی بیش از این تعداد را ندارد (مهندسین مشاور بوم‌سازگان پایدار، ۱۳۸۵). همچنین بر اساس نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، جمعیت تهران برابر با ۸۶۹۳۷۰۶ نفر بوده و نشان می‌دهد این بستر حداقل بیش از ۱,۴ برابر ظرفیت خود را در برگرفته است. به عبارتی حدود ۱۰ تا ۱۱ درصد جمعیت کشور در شهر تهران مستقر هستند؛ درحالی‌که مساحت تهران یک درصد مساحت کل کشور نیست (فتحی، ۱۳۹۷). از سوی دیگر شهر تهران به دلیل همجواری با گسل‌های متعدد، در معرض خطر وقوع زلزله قرار دارد و به دلیل وجود بافت متراکم شهری و مقاومت پایین سازه‌های کالبدی به‌خصوص در مناطق میانی همچون نمونه موردمطالعه، توسط مخاطرات جدی زلزله تهدید می‌شود. بر اساس آمار، حدود ۹۰ درصد از جمعیت تهران در پهنه‌های با خطر بالای زلزله سکونت دارند (صفاری و پولادوند، ۱۳۹۶).

مطالعات و شواهد حاکی از این است که بافت‌های مسکونی و شهری واقع در بخش میانی تهران، در برابر عدم تعادل‌های ناشی از بروز زلزله دچار نابسامانی‌های فیزیکی حاد می‌شوند و بحران حیات شهری را به وجود می‌آورند (منزوی و همکاران، ۱۳۸۹)؛ بنابراین پر واضح است که عدم تعادل‌های موجود در سرزمین که ناشی از عدم اتخاذ راهبردهای مناسب سازماندهی فضا منطبق بر نیازهای آینده است، در آینده‌ای نزدیک ساختار کالبدی-فضایی شهر تهران را در برابر مخاطرات زلزله با مشکلات و چالش‌های جدی مواجه خواهد نمود. در این میان، تاب‌آوری از جدیدترین مباحث حائز اهمیت مربوط به این حوزه است. تاب‌آوری مفهومی فراتر از پیش‌بینی دارد و به دلیل پویا بودن واکنش جامعه در برابر مخاطرات، نوعی آینده‌نگاری است و به دنبال تبیین سیاست‌هایی برای رویارویی با عدم قطعیت‌های محیطی است (رفیعیان و همکاران، ۱۳۹۰).

باید اذعان داشت وضعیت فعلی شهر تهران حاصل چند دهه کم‌توجهی به موضوع مدیریت بحران و فقدان آینده‌نگاری در این حوزه است. لذا بهبود وضعیت موجود نیز نیازمند برنامه‌ریزی جامع و اجرای اقدامات کوتاه‌مدت تا بلندمدت است. تاکنون مطالعات و پژوهش‌های زیادی برای بهبود وضعیت کالبدی شهر تهران در برابر زلزله انجام شده و راهکارهای مختلفی نیز ارائه شده که اغلب موردتوجه قرار نگرفته است. مضاف بر اینکه تاکنون الگویی فراگیر از ارتباطات بین پیشران‌های کلیدی مؤثر بر ارتقاء و افزایش تاب‌آوری کالبدی شهرها در برابر زلزله و تأثیرات آن‌ها بر روی یکدیگر ارائه نشده است. به همین منظور پژوهش حاضر در نظر دارد منطبق با جهت‌گیری‌های راهبردی طرح جامع جدید تهران (۱۳۸۶) که دستیابی به "شهری امن و مقاوم در برابر انواع آسیب‌ها، مخاطرات و سوانح در افق چشم‌انداز ۱۴۰۴ شمسی"، را به‌مثابه یکی از آرمان‌های سند چشم‌انداز شهر تهران در نظر گرفته است، افق چشم‌انداز

پژوهش حاضر را نیز همین سال و به‌صورت کوتاه‌مدت مدنظر قرار دهد تا از این طریق بتواند بستر مناسب برای برنامه‌ریزی بلندمدت آینده تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله را از طریق نمونه موردمطالعه، فراهم نماید. در همین راستا پژوهش حاضر به دنبال سطح‌بندی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۰ شهر تهران در برابر زلزله با استفاده از مدل‌سازی ساختاری-تفسیری ISM[1] و با رویکردی آینده‌نگارانه برای افق ۱٤۰٤ است. پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت و روش توصیفی- تحلیلی بوده و به دنبال پاسخ به این سؤال اساسی است که، مهم‌ترین پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعه در برابر زلزله در شرایط عدم قطعیت محیطی چیست و روابط بین آن‌ها چگونه تبیین و تحلیل می‌گردد؟ در این تحقیق، با استفاده از مدل‌سازی ساختاری-تفسیری روابط بین پیشران‌های کلیدی تعیین و به‌صورت یکپارچه تحلیل می‌شوند و درنهایت مدل یکپارچه پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با تأکید بر نمونه موردمطالعه طراحی و ارتباطات بین آن‌ها مشخص می‌شود.

۲- ادبیات موضوعی

۲-۱- ابعاد و چرخه تاب‌آوری

مفهوم واژه تاب‌آوری[2] در واقع از واژه لاتین «Resilio» به معنای «به‌طور ناگهانی و یک‌باره عقب‌نشینی کردن (to jump back)» استخراج شده است؛ این کلمه را نخستین بار هولینگ[3] در سال ۱۹۷۳ در مطالعات اکولوژیکی بکار گرفت (داداش‌پور و عادلی، ۱۳۹٤). تاب‌آوری، اشاره به سازگاری فرایندها به‌عنوان یک تغییر مستقل از سیستم دارد (رکن‌الدین افتخاری و صادقلو، ۱۳۹۷) و باید به‌گونه‌ای باشد که پیش‌بینی درستی در مورد توانایی جامعه برای بهبود پس از وقوع بحران ارائه دهد (فئوفیلوس و رومانولی[4]، ۲۰۲۰)، ازاین‌رو تاب‌آوری رویکردی است که در ابعاد گوناگون به بررسی بروز بحران می‌پردازد (لنگرنشین و همکاران، ۱۳۹۸). بعد اجتماعی[5] تاب‌آوری بر ظرفیت جوامع در بازیابی خود پس از وقوع بحران تأکید دارد. در بعد اقتصادی[6]، تاب‌آوری به نیاز سیستم اقتصادی به سیستم پشتیبان برای حفظ پایداری و تعادل بعد از وقوع بحران می‌پردازد. بعد نهادی[7] حاوی ویژگی‌های مرتبط با تقلیل خطر، برنامه‌ریزی و تجربه سوانح قبلی است. در بعد کالبدی[8] تاب‌آوری که محور پژوهش حاضر است، علاوه بر

---

1 Interpretive Structural Modeling
2 Resilience
3 Holling
4 Feofilovs & Romagnoli
5 Social Resilience
6 Economic Resilience
7 Institutional Resilience
8 Physical Resilience

تأمین سرپناه‌هایی برای آسیب‌دیدگان بعد از وقوع بحران، به اصولی برای طراحی کالبد قبل از وقوع بحران و مخاطره پرداخته می‌شود (کاتر و همکاران[1]، ۲۰۱۵).

چرخه تاب‌آوری شامل چهار مرحله است (الکساندر[2]، ۲۰۱٤):

۱. کاهش[3]: فعالیت‌هایی که برای حذف کردن یا کاهش آثار بحران و کاهش آثار زیانبار زلزله انجام می‌شود.

۲. آمادگی[4]: فعالیت‌هایی که برای حفظ جان مردم و کاهش آسیب‌ها با آماده‌سازی مردم برای واکنش مناسب در مواقع ضروری انجام می‌گیرد.

۳. واکنش[5]: فعالیت‌هایی که هنگام زلزله یا بی‌درنگ پس از آن برای فراهم کردن کمک‌های ضروری به آسیب‌دیدگان حادثه و کاهش احتمال حوادث ثانویه و سرعت بخشیدن در عملیات بازیابی انجام می‌شود.

٤. بازیابی[6]: این مرحله شامل برنامه کمک‌های فردی و جمعی است که مسکن موقت و انواع وام‌ها را برای افراد برای سرعت بخشیدن در بازیابی جوامع فراهم می‌کند.



شکل ۱- چارچوب ارزیابی تاب‌آوری

منبع: Adapted from Alexander, 2014

1 Cutter & et.al
2 Alexander
3 Mitigation
4 Preparedness
5 Response
6 Recovery

۲-۲- آینده‌نگاری تاب‌آوری

تلاش‌های علمی بشر برای شناخت آینده نخستین بار با پیش‌بینی شروع شد و در برنامه‌ریزی بـه کـار رفـت؛ بـا مشاهده تکرار در وقوع رویدادها، این پیش‌فرض به وجود آمد که نتایج و تبعات آن را می‌توان به همه رویدادهایی از آن جنس تعمیم داد (البرزی و همکاران، ۱۳۹۱). می‌توان گفت آینده‌نگاری شاخه‌ای از علوم انسانی است که به افـراد جامعه مرتبط است. بر این قیاس، آینده‌نگاری دانشی ارزش‌بنیان است. توجه به آینده‌نگاری تاب‌آوری با تأکید بر بعد کالبدی، اولین بار توسط ساموئل تیلورکلریز[1] در نیمه اول قرن نوزدهم در مفهوم "تقویت مجـدد در آینـده" بـه کـار رفت (لطیفی و همکاران، ۱٤۰۰). مطالعات حاکی از آن است که در سال‌های اخیر، آینده‌نگاری سبب ظهور بسـیاری از موضوعات مرتبط با تاب‌آوری شده است. این موضـوعات شـامل تحلیـل ریسـک مخـاطرات طبیعـی و انسـانی، ظرفیت‌سازی در کاهش تأثیرات مخاطرات طبیعی و برنامه‌ریزی پابرجا و راهبردی افزایش تاب‌آوری کالبـدی اسـت. اهمیت بحث آینده‌نگاری در موضوعات فضایی و کالبدی باعث شده است که در دهه اخیر از برنامه‌ریزی مبتنـی بـر سناریو به‌منزله ستون فقرات برنامه‌ریزی ارتقای تاب‌آوری کالبـدی در برابـر مخـاطرات طبیعـی و انسـانی یـاد کننـد (رابینسون[2]، ۲۰۲۰).

بیش از یک دهه است که رویکردها و نظریه‌های آینده‌نگـاری تـاب‌آوری در موضـوعات مـرتبط بـا مخـاطرات محیطی، پارادایم خود را از مدل کاهش تلفات و خسارت به یک مدل جـامع‌تر تـاب‌آوری تغییـر داده‌انـد. مهم‌تـرین رویکردهای تاب‌آوری به چهار گروه تقسیم شده‌اند. گروه اول شامل رویکرد کنشگر[3]، کنش‌پذیر[4] و رویکرد سـازگار و گسترده است؛ گروه دوم نیز شامل سه رویکرد تاب‌آوری به‌عنوان آمادگی، تاب‌آوری به‌عنوان عملکرد و تاب‌آوری بی‌اثر است؛ گروه سوم رویکردهای تاب‌آوری را به دو رویکرد بخشی و کلی تقسیم می‌کند؛ و گروه چهارم نیز شامل رویکردهای تاب‌آوری و تعادل جهانی، تاب‌آوری و تعادل چندبُعدی است (سلمانی و همکاران، ۱۳۹٤). آنچه مسـلم است این است که تاب‌آوری معیارهای بلندمدتی را برای برنامه‌ریزی به کار می‌گیرد و ایـن خـود یکـی از مصـادیق آینده‌نگاری است. لذا پر واضح است که در دهه اخیر، نظریـه تـاب‌آوری از یـک شـاخص قابل‌انـدازه‌گیری و قابـل توصیف به یک "شیوه تفکر" تحول یافته است و در تلفیق با آینده‌نگاری این امکان را فراهم سـاخته تـا بشـر بتوانـد تغییرات را پیش‌بینی و جهت تغییرات را مدیریت کند.

در پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص عوامل و پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی شهرها در برابر مخاطرات، هر یک از پژوهشگران بر یک یا چند بعد تأثیرگذار تأکید کرده و شاخص‌ها و زیرمعیارهایی را ارائه کرده‌اند. در پژوهش‌های داخلی، لطیفی و همکاران (۱٤۰۰) در پژوهشی با عنوان "تبیین مؤلفـه‌های کلیـدی افـزایش

1 Samuel Taylor Coleridge
2 Robinson
3 Proactive
4 Reactive

تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با رویکرد تحلیل ساختاری (نمونـه مـوردی: منطقـه ۱۰)" بـا اسـتفاده از روش توصیفی-تحلیلی و تکیه بر روش تحلیل اثرات متقابل ساختاری در نرم‌افزار MicMac از بین ٤١ متغیـر اولیـه تأثیرگذار، ۱۱ عامل کلیدی در تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۰ شهر تهـران در برابـر زلزلـه را شناسـایی کردنـد و میـزان تأثیرگذاری مستقیم و غیرمستقیم متغیرها بر یکدیگر را مورد سنجش قرار دادند. نوری و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه تحقیقی خود با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی و نمونه‌گیری هدفمنـد و بهـره‌گیـری از مـدل‌سـازی سـاختاری-تفسیری، عوامل مؤثر بر تاب‌آوری اجتماعی و کالبدی شهر شیراز در برابر مخاطرات طبیعی را سطح‌بندی کردنـد. بـر اساس مطالعات آن‌ها در تحلیل تاب‌آوری سیستم‌های محیطی و انسانی در برابر مخـاطرات طبیعـی و همین‌طـور در تحلیل و کاهش آسیب‌پذیری شهرها و محلات، تأکید بر بعد کالبدی و ویژگی‌های فیزیکی بایستی توأمان بـا تحلیـل ساختارهای اجتماعی صورت پذیرد. یاراحمدی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی با عنوان "بررسی میـزان تـاب‌آوری کالبدی شهر نورآباد ممسنی در برابر زلزله" به بررسی وضعیت تاب‌آوری محلات شهر موردمطالعـه در بعـد کالبـدی پرداختند. بدین‌صورت که در ابتدا با استفاده از روش‌های تاپسیس، کوپراس و مورا، مؤلفه‌های تـاب‌آوری را در بـین محلات سطح‌بندی و درنهایت از روش کپ‌لند و تحلیل ساختاری-تفسیری برای تعیین رتبـه نهـایی عوامـل کلیـدی استفاده کردند. حاتمی‌نژاد و همکاران (۱۳۹٦) در پژوهشی تحت عنوان "بررسی ابعاد مؤثر بر تـاب‌آوری شـهری بـا استفاده از مدل ساختاری-تفسیری (نمونه موردی: شهر اهواز)" ابعاد مؤثر بر تاب‌آوری شهری در نمونه موردمطالعـه را با استفاده از مدل ISM و روش توصیفی-تحلیلی سطح‌بندی کردنـد. بـه اسـتناد ایـن مطالعـات، ابعـاد اقتصـادی، کالبدی-محیطی و نهادی-مدیریتی در بالاترین سطح قرار گرفتند. رضـایی و همکـاران (١٣٩٤) در پژوهشـی تحـت عنوان " سنجش و ارزیابی میزان تاب‌آوری کالبدی اجتماع‌های شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: محله‌های شـهر تهران)" با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی به ارزیابی میزان تاب‌آوری کالبدی در محله‌های منتخب شـهر تهـران و ارائه چارچوبی برای سنجش میزان تاب‌آوری پرداختند و نشان دادند که این محله‌ها به لحاظ تـاب‌آوری کالبـدی در سطوح متفاوت و در طیفی از بهترین تا بدترین شرایط قرار می‌گیرند. زالی و منصوری (۱۳۹۳)، به مطالعه‌ای با عنوان "تحلیل عوامل کلیدی مؤثر بر توسعه حمل‌ونقل پایدار در افق ١٤٠٤ کلانشـهر تهـران" بـا روش تحلیـل سـاختاری پرداختند. برای این منظور، در این پژوهش در مرحله نخست ۱۸ عامل اولیه شناسـایی شـده و تحلیـل در نـرم‌افـزار میک‌مک انجام شد که عوامل زیرساخت حمل‌ونقل، ساخت فشرده شهری، فرهنگ‌سازی، مدیریت سامانه حمل‌ونقل و فناوری‌های جدید به‌عنوان عوامل کلیدی مؤثر شناخته شدند. ربانی (۱۳۹۰)، در مقاله‌ای تحت عنوان "روش تحلیل ساختاری، ابزاری برای شناخت و تحلیل متغیرهای مؤثر بر آینده موضوعات شهری" به معرفـی تحلیـل سـاختاری-تفسیری در موضوعات و مسائل مربوط به شهر پرداخته و ضـمن اشـاره بـه تاریخچـه اسـتفاده از روش تحلیلـی در مسائل شهری، توانایی این روش را در شناخت متغیرهای پیشران در توسعه یک نظام بیان نموده است.

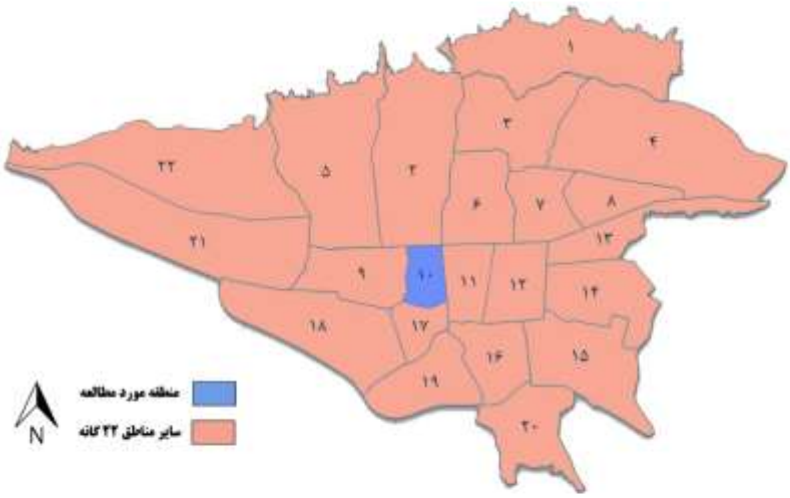
در پژوهش‌های خارجی، گونچالوز و ریبیرو[1] (۲۰۲۰)، در تحقیق خود به ارائه نقشه‌برداری از تاب‌آوری شهری در برابر بلایا و مخاطرات طبیعی پرداخته‌اند. نتایج این مقاله نشان داد که با توجه به تاب‌آوری درونی، الگوها و روش‌های بسیار کمی در مقیاس شهری در این زمینه استفاده شده است و همچنین بیشتر نقشه‌های تاب‌آوری مبتنی بر رویکرد تحلیلی بوده و خاصیت سیستمی تاب‌پذیری را نشان نمی‌دهند. چارلسون[2] و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی تحت عنوان "سنجش تاب‌آوری مسکن در برابر زلزله در کشورهای درحال‌توسعه؛ زمانی برای تغییر بخش‌های دولت محلی" با استفاده از رویکرد ساختاری-تفسیری ISM و پس از بازبینی وضعیت فعلی ساختمان‌ها و آسیب‌پذیر بودن آن‌ها در برابر زلزله به این نتیجه رسیدند که اعمال تغییرات مثبت در ساختار دولت‌های محلی بایستی در اولویت قرار گیرد. از نظر آن‌ها نقاط قوت و ضعف سیاست‌ها و پروژه‌ها و در برخی موارد فرآیندهای بالقوه دگرگون شونده، ساخت تاب‌آوری کالبدی-زیست‌محیطی را برای تحقیقات آینده مهیا می‌کند. بوستون[3] (۲۰۱۷) در رساله دکتری خود که تحت عنوان "تاب‌آوری ساختمانی از طریق طراحی با رویکرد بهبود کارایی بیمارستان‌ها پس از زلزله" در دانشگاه جانز هاپکینز[4] انجام داده است، در نتایج نهایی پژوهش با بهره‌گیری از روش ساختاری-تفسیری ISM به کدبندی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر ارتقای تاب‌آوری ساختمان‌های بیمارستانی پرداخت. از نظر وی با رتبه‌بندی این عوامل می‌توان مدیریت عملکرد ساختمان‌ها در برابر زلزله را بهبود و ارتقا بخشید. یوشیهیرو کانو[5] و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی تحت عنوان "طراحی ساختاری جوامع به‌منظور تاب‌آوری کالبدی در برابر زلزله با رویکرد مدیریت شکاف‌های ناشی از عدم قطعیت‌ها" با استفاده از روش کیفی و بر اساس تئوری شکاف اطلاعاتی، به بررسی تاب‌آوری لرزه‌ای سازه‌ها در محیط‌های شهری پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که به دلیل وجود عدم قطعیت‌های فراوان در هنگام وقوع مخاطرات طبیعی همچون زلزله، اقدامات از پیش برنامه‌ریزی شده در حوزه تاب‌آوری از مهم‌ترین ملزومات اجتناب‌ناپذیر در مواقع بروز بحران است. مارتینلی و همکاران[6] (۲۰۱٤) در پژوهش خود با عنوان "بررسی تاب‌آوری اقتصادی اجتماعات محلی متأثر از بلایای طبیعی در منطقه خلیج سانفرانسیسکو با استفاده از مدل ساختاری-تفسیری ISM" نشان دادند که مهم‌ترین عامل برای ارتقای تاب‌آوری اقتصادی سرمایه‌گذاری روی صنایع فردی در منطقه است.

1 Gonçalves & Ribeiro
2 Charleson
3 Boston
4 Johns Hopkins University
5 Yoshihiro Kanno, Shinnosuke Fujita & Yakov Ben-Haim
6 Martinelli & et.al

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- منطقه موردمطالعه

منطقه ۱۰ شهرداری تهران از شمال به خیابان آزادی واقع در جنوب منطقه ۲، از شرق بـه بزرگـراه شـهید نـواب صفوی واقع در غرب منطقه ۱۱، از جنوب به خیابان قزوین واقع در شمال منطقه ۱۷ و از غرب به بزرگراه یادگار امام (ره) واقع در شرق منطقه ۹، محدود می‌شود (پوراحمد و همکاران، ۱۳۹۸). این منطقه با ۳ ناحیه شهری و ۱۰ محلـه قدیمی، پرجمعیت‌ترین منطقه تهران است. مساحت منطقه معادل ۸،۱۸۵،٤۸۷ مترمربع می‌باشد و در حدود ۳۲۷ هزار نفر (بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵) را در خود جای داده است که با تراکم ٤۲۰ نفر در هکتار جزء پـر تراکم‌تـرین مناطق شهر تهران می‌باشد. بافت فشرده با قطعات کوچک، سطح قابل‌ملاحظه‌ای از منطقه را به زیر اشغال برده اسـت. چشم‌انداز منطقه در طرح جامع شهر تهران بر اساس امکانات، قابلیت‌ها و محدودیت‌های درونی و بیرونی منطقـه در گستره شهر تهران تدوین شده است. در چشم‌انداز منطقه ۱۰، این منطقه، محدوده‌ای پیشـگام در اجـرای برنامـه‌های بهسازی و نوسازی شهری و مقاوم‌سازی ساختمان، در نظر گرفته شده است (ساسان‌پور و همکاران، ۱۳۹٤).



شکل ۲- موقعیت منطقه ۱۰ نسبت به سایر مناطق شهر تهران

منبع: طرح جامع تهران (مصوب ۱۳۸٦)

۳-۲- روش‌شناسی پژوهش

هدف از انجام این پژوهش، تحلیل روابط بین پیشران‌های کلیدی **مؤثر** بر افزایش تاب‌آوری کالبدی شـهر تهـران در برابر زلزله با تأکید بر نمونه موردمطالعه می‌باشد. روش تحقیق مقاله حاضر، توصیفی-تحلیلی و نتایج آن کـاربردی است. پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعه در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل

محتوا و دلفی شناسایی شده‌اند. در بخش مدل‌سازی ساختاری–تفسیری نیز، بـه کمـک روش دلفـی از آرای خبرگـان دانشگاهی در حوزه تاب‌آوری که جامعه آماری پژوهش هستند استفاده شده است. داده‌ها با ابزار مصاحبه و پرسشنامه دوبه‌دویی جمع‌آوری شده و روایی پرسشنامه و ابزار سنجشی با ملاک روایی صوری ارزیابی شده اسـت. مـدل‌سـازی ساختاری–تفسیری (ISM)، روشی نظام‌مند و ساختاریافته برای برقراری و فهم روابط میان عناصرِ نظامی پیچیده است که وارفیلد[1] اولین بار در سال ۱۹۷٤ معرفی کرد (آتـش‌سـوز و همکـاران، ۱۳۹۵). مـدل‌سـازی سـاختاری–تفسـیری فرایندی متعامل در مجموعه‌ای از عناصر گوناگون و مرتبط با همدیگر است که در مدل نظام‌مندِ جامعی سـاختاربندی می‌شود (آذر و همکاران، ۱۳۹۸). ایده اصلی مدل‌سازی ساختاری–تفسیری، تجزیه سیستم پیچیده به چند زیرسیسـتم، با استفاده از تجربه عملی و دانش خبرگان برای ساخت مدل سـاختاری چندسـطحی اسـت (گاوینـدن و همکـاران[2]، ۲۰۱۲). ازآنجاکه در پژوهش حاضر متغیرهای موردبررسی کیفی هستند، به همین منظور برای تحلیل روابط بین آن‌ها از روش ساختاری–تفسیری استفاده شده است. رویکرد مدل‌سازی ساختاری–تفسیری یـک متـدولوژی مـؤثر بـرای موضوعاتی است که در آن متغیرهای کیفی در سطوح مختلف اهمیت بر یکدیگر آثار متقابـل دارنـد (حـاتمی‌نـژاد و همکاران، ۱۳۹٦). روش دلفی و روش مدل‌سـازی سـاختاری–تفسـیری ایجـاب مـی‌کنـد کـه اطلاعـات خبرگـان و متخصصان دریافت و تحلیل شود. برای انتخاب اعضـای دلفـی و گـروه مـدل‌سـازی سـاختاری–تفسـیری، از روش نمونه‌گیری به‌صورت هدفمند استفاده شده است. معیارهای انتخاب خبرگان، تسلط نظـری، تجربـه عملـی، تمایـل و توانایی مشارکت در پژوهش و دسترسی است. نکته قابل‌توجه در تعیین تعداد خبرگـان، کسـب اطمینـان از جامعیـت دیدگاه‌های گوناگون در پژوهش است. تعداد خبرگان شرکت‌کننده در مدل‌سازی ساختاری–تفسیری مقالـات بررسـی شده معمولاً بین ١٤ تا ۲۰ نفر است. درنهایت، در تحقیق حاضر ۲۰ نفر از خبرگان و متخصصان دانشـگاه‌هـا و مراکـز پژوهشی با توجه به معیارهای یاد شده برای شرکت و همکاری در فرایند پژوهش انتخـاب شـدند. روایـی محتـوایی پرسشنامه در این پژوهش به حد و میزانی اشاره دارد که یک ابزار منعکس‌کننده محتوای مشـخص مـدنظر باشـد. بـر اساس روش لاوشه[3]، برای ایجاد روایی محتوایی در پرسشنامه، ابتدا با مرور ادبیات در حوزه موردمطالعه، دامنه محتوا و بخش‌های پرسشنامه تدوین می‌شود؛ سپس از اعضای پانل خبرگان خواسته می‌شـود بـا انتخـاب یکـی از سـه گزینـه «ضروری»، «مفید، اما نه ضروری» یا «غیرضروری»، به میزان مناسب بودن هر بخش پاسخ دهند. براین اساس، با کمک رابطه یک، نسبت روایی محتوایی محاسبه می‌شود و با توجه به سطح لازم برای معناداری آماری، ($P<0.5$) کمینه ۰٫۷۵ برای پذیرش در هر مرحله به‌دست می‌آید. برای نمونه نسبت روایی محتوایی برای افزایش تـاب‌آوری کالبـدی نمونـه موردمطالعه در برابر زلزله برابر با ۰٫۸ و به‌صورت زیر محاسبه شده است.

1 Warfield
2 Govindan & et.al
3 Lawshe

$$CVR = \frac{N_e - {}^{N}/_{2}}{{}^{N}/_{2}} = \frac{19 - {}^{20}/_{2}}{{}^{20}/_{2}} = 0.8$$

$N_e =$ تعداد اعضایی که پاسخ ضروری داده‌اند

$N =$ عدد کل اعضای پانل خبرگان

همچنین با استفاده از روش آزمون مجدد پایایی، میزان پایایی پرسشنامه ISM سنجیده شده است. بر این اساس، پرسشنامه مزبور دوباره به سه نفر از خبرگان و متخصصانی ارسال شد که دسترسی مجدد به آن‌ها امکان‌پذیر بود. درنهایت، مجموع همبستگی پاسخ‌های اعلام شده از طرف خبرگان برای هر دو مرحله ۰٫۷۸۶ محاسبه شد. این شاخص مؤید آن است که پرسشنامه دارای پایایی قابل قبول است.

۳-۳- فرایند مدل‌سازی ساختاری-تفسیری

مدل‌سازی ساختاری-تفسیری، فرایند تعاملی است که از طریق تفسیر نظرات گروهی خبرگان به چگونگی ارتباط بین مفاهیم یک مسئله می‌پردازد و ساختاری جامع از مجموعه پیچیده‌ای از مفاهیم ایجاد می‌کند که غالباً دارای شش گام است (ایجابی و همکاران، ۱۳۹۹):

گام اول: شناسایی عوامل (پیشران‌های) مربوط به مسئله: این مرحله با بررسی پژوهش‌های گذشته و دریافت نظر کارشناسان انجام می‌شود.

گام دوم: تشکیل ماتریس خودتعاملی ساختاری: در این مرحله پیشران‌ها به‌صورت دوبه‌دو با هم بررسی می‌شوند و پاسخ‌دهنده با استفاده از نمادهای ذیل به تعیین روابط پیشران‌ها می‌پردازد:

- نماد V: یعنی i به j منجر می‌شود.
- نماد A: یعنی j به i منجر می‌شود.
- نماد X: ارتباط دو سویه از i به j و برعکس.
- نماد O: هیچ ارتباطی بین i و j وجود ندارد.

گام سوم: ایجاد ماتریس دسترسی اولیه: در این مرحله از تبدیل نمادهای A و O به صفر و X و V به یک، ماتریس خودتعاملی ساختاری به ماتریس دودویی (ماتریس دسترسی اولیه) تبدیل خواهد شد.

گام چهارم: ایجاد ماتریس دسترسی نهایی: پس از آنکه ماتریس دسترسی اولیه به‌دست آمد، با وارد کردن انتقال‌پذیری در روابط پیشران‌ها، ماتریس دسترسی نهایی به‌دست می‌آید.

گام پنجم: بخش‌بندی سطح وارفیلد، که دو قاعده اصلی را برای سطح‌بندی بیان می‌کند.

- قاعده اول: مجموع فراوانی عناصر بر اساس ستون مجموع خروجی و مجموع مشترک معین و به ترتیب از کوچک‌ترین تا بزرگ‌ترین فراوانی سطح‌بندی شود.

- قاعده دوم: که به قاعده تکرار معروف است. بر اساس اولین جدول با توجه بـه کوچـک‌ترین مجمـوع فراوانی در ستون مجموع خروجی و مجموع مشترک، عناصر سطح‌بندی می‌شوند. عناصر سـطح‌بنـدی شده از جدول حذف و دوباره قاعده اجرا می‌شود. فرایند حذف و روابط غیرمستقیم تعمیم می‌یابد.

گام آخر: تجزیه‌وتحلیل قدرت نفوذ و میزان وابستگی (نمودار میک‌مک): بـر اسـاس قـدرت وابسـتگی و نفـوذ پیشران‌ها، دستگاه مختصاتی به چهار قسمت تقسیم می‌شود. گروه اول، خوشه یا پیشران‌های خودمختـار هسـتند کـه قدرت نفوذ و وابستگی ضعیفی دارند. گروه دوم، خوشه یا پیشران‌های وابسته هستند که قدرت نفوذ ضـعیفی دارنـد، اما از وابستگی زیادی برخوردارند. گروه سوم، خوشه یا پیشران‌های پیوندی می‌باشند کـه قـدرت نفـوذ و وابسـتگی زیادی دارند. گروه چهارم، خوشه یا پیشران‌های مستقل (اصلی) هسـتند کـه از قـدرت نفـوذ زیـادی برخوردارنـد و وابستگی کمی دارند. از جمع کردن ورودی‌های یک در هر سطر و ستون، قدرت نفوذ و وابستگی پیشران‌ها به‌دسـت می‌آید.

٤- یافته‌های پژوهش

ازآنجاکه آینده‌نگاری اساساً مبتنی بر عدم قطعیت‌های محیطی و مطالعـه روابـط پیچیـده و چندگانـه اسـت، لـذا شناسایی محرک‌ها و پیشران‌های اصلی مؤثر بر تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعه در برابـر زلزلـه از اولویـت‌هـای اساسی پژوهش حاضر به حساب می‌آید. به‌منظور شناسایی عوامل اولیه مؤثر بر افزایش تـاب‌آوری کالبـدی در برابـر زلزله، در گام نخست با بررسی مبانی نظری و پیشینه تحقیق، مؤلفه‌های مؤثر بر تاب‌آوری کالبدی در منطقه ۱۰ تهران شناسایی و در قالب پرسشنامه دلفی تهیه و تدوین شدند. در گام بعدی این شـاخص‌هـا در دو دور دلفـی برحسـب میانگین، انحراف معیار و ضریب توافق شاخص‌ها جهت حضور در پالایش نهایی، به‌وسیله اعضای پانل خبرگان و بر مبنای مقیاس پنج گزینه‌ای لیکرت مورد بررسی قرار گرفتند. همانطور که پیش‌تر اشاره شد، اعضای پانـل خبرگـان از متخصصان رشته برنامه‌ریزی شهری در دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی که دارای شناخت از موضوع تاب‌آوری و بافـت شهری تهران بودند انتخاب شدند. درنهایت از مجموع ٤۱ متغیر تأثیرگذار، ۱۱ پیشران به‌عنوان پیشـران‌هـای کلیـدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۰ تهران در برابر زلزله انتخاب شدند. در این تحقیق پیشـران‌هـای کلیـدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعه در برابر زلزله، پس از شناسایی، با رویکرد ISM سطح‌بندی شده و به تأیید خبرگان رسیدند (جدول ۱) که در ادامه فرایند آن تشریح شده است. باید اذعان داشت که منطق مدل‌سـازی ساختاری-تفسیری ISM منطبق بر روش‌های ناپارامتریک و بر مبنای مُد در فراوانی‌هـا عمـل مـی‌کنـد. اگـر چـه در رویکردهای تعدیل شده مدل‌سازی ساختاری-تفسیری، بکارگیری روش‌های گشتاوری متعارف شـده اسـت، امـا بـا وجود مفروضات پارامتریک، همچنان متدولوژی ناپارامتریک آن که در این پژوهش اجـرا شـده اسـت، روش غالـب است.

جدول ۱- پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۰ تهران در برابر زلزله

مؤلفه	پیشران‌ها
C1	دسترسی به شبکه معابر اصلی
C2	دسترسی به نهادهای امدادرسان (مرکز مدیریت بحران و...)
C3	ضوابط فنی، اصول و الگوهای ساخت‌وساز
C4	دسترسی به آتش‌نشانی
C5	استحکام بناهای با کاربری عمومی (مدرسه، بیمارستان)
C6	توزیع خدمات
C7	بازسازی و بهسازی ساختمان‌های ناپایدار
C8	کاربری زمین (تعدد واحدهای مسکونی)
C9	کلاس دانه‌بندی
C10	حفاظت از امکانات و زیرساخت‌های عمومی (از مقاوم‌سازی تا بازسازی)
C11	نسبت راه به ساختمان در محدوده موردمطالعه

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۰.

٤-۱- ماتریس خودتعاملی ساختاری[1] (SSIM)

پس از شناسایی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعه در برابر زلزله، این پیشران‌ها در ماتریس خودتعاملی ساختاری وارد شدند. خبرگان این ماتریس را در چهار حالت روابط مفهومی تکمیل کرده‌اند. سپس اطلاعات به‌دست آمده بر اساس روش مدل‌سازی ساختاری-تفسیری جمع‌بندی شده و ماتریس خودتعاملی ساختاری نهایی تشکیل می‌شود. علائم و حالت‌های به‌کار رفته در این رابطه مفهومی در جدول ۲ ارائه شده است.

1 Structural Self – Interaction Matrix

جدول ۲- ماتریس خودتعاملی ساختاری پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۰ تهران در برابر زلزله

i-j	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	-	V	A	V	O	V	O	A	X	O	X
C2		-	O	X	O	V	O	O	A	O	V
C3			-	X	V	O	V	V	A	X	O
C4				-	O	V	O	O	A	O	A
C5					-	O	A	O	O	V	O
C6						-	O	A	A	O	A
C7							-	O	V	V	O
C8								-	V	O	O
C9									-	O	X
C10										-	O
C11											-

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۰.

٤-۲- ماتریس دسترسی اولیه[1]

ماتریس دسترسی اولیه از تبدیل ماتریس خودتعاملی ساختاری به یک ماتریس دو ارزشی (صفر-یک) به‌دست می‌آید. برای استخراج ماتریس دسترسی، باید در هر سطر عدد ۱ جایگزین علامت‌های V و X و عدد صفر جایگزین علامت‌های A و O در ماتریس دسترسی اولیه شود. پس از تبدیل همه سطرها، نتیجه به‌دست آمده، ماتریس دسترسی اولیه نامیده می‌شود. سپس روابط ثانویه بین بعد/ شاخص‌ها کنترل می‌شود. رابطه ثانویه به‌گونه‌ای است که اگر بُعد j به بُعد i و بُعد k به i منجر شود، بعُد j به بعد k منجر خواهد شد.

جدول ۳- ماتریس دسترسی اولیه پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۰ تهران در برابر زلزله

i-j	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
C2	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1
C3	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
C4	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
C6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
C7	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0
C8	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
C9	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1
C10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
C11	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۰.

1 Initial Reachability Matrix

٤-٣- ماتریس دسترسی نهایی[1]

پس از تشکیل ماتریس دسترسی اولیه، با دخالت دادن انتقال‌پذیری در روابط پیشران‌های کلیدی مؤثر بـر افـزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعه در برابر زلزله، ماتریس دسترسی نهایی تشکیل می‌شود تا ماتریس دسترسی اولیـه سازگار شود. بدین صورت که اگر i و j و نیز j و k باهم در ارتباط باشند آنگاه i و k با هم در ارتباط هسـتند. ایـن سازگاری با استفاده از روابط ثانویه که ممکن است وجود نداشته باشند به ماتریس دستیابی اولیه افزوده می‌شـوند. در جدول زیر سلول‌های که به‌صورت 1* نشان داده شده روابطی هستند که در ماتریس سازگار شده ایجاد شده‌انـد. در این مرحله کلیه روابط ثانویه بین پیشران‌های کلیدی بررسی شده است و ماتریس دسترسی نهایی مطابق جـدول زیـر به‌دست آمده است. در این ماتریس قدرت نفوذ هر پیشران عبارت است از تعداد نهایی پیشران‌هایی (شامل خودش) که ممکن است در ایجاد آن‌ها نقش داشته باشند. میزان وابستگی عبارت است از تعداد نهایی پیشران‌های که موجب ایجاد پیشران مذکور می‌شوند.

جدول ٤- ماتریس دسترسی نهایی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۰ تهران در برابر زلزله

i-j	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	قدرت نفوذ
دسترسی به شبکه معابر اصلی	1	1	1*	1	0	1	0	0	1	0	1	7
دسترسی به نهادهای امدادرسان ...	1*	1	0	1	0	1	0	0	1*	0	1	6
ضوابط فنی، اصول و الگوهای ساخت‌وساز	1	1*	1	1*	1	1*	1	1	1*	1	1*	11
دسترسی به آتش‌نشانی	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1*	4
استحکام بناهای با کاربری عمومی ...	0	0	1*	0	1	0	0	0	0	1	0	3
توزیع خدمات	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
بازسازی و بهسازی ساختمان‌های ناپایدار	1*	1*	1*	1*	1	1*	1	0	1	1	1*	10
کاربری زمین (تعدد واحدهای مسکونی)	1	1*	1*	1*	0	1	0	1	1	0	1*	8
کلاس دانه‌بندی	1	1	1	1	1*	1	1*	1*	1	1*	1	11
حفاظت از امکانات و زیرساخت‌های عمومی	1*	0	1	0	1*	0	1*	1*	0	1	0	6
نسبت راه به ساختمان در محدوده ...	1	1*	1*	1	0	1	0	0	1	0	1	7
میزان وابستگی	8	8	8	8	5	9	4	4	7	5	8	

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۰.

در جدول ٤، قدرت نفوذ (میزان تأثیری که هر پیشران بر سایر پیشران‌ها دارد) ۱۱ پیشران شناسـایی شـده مـؤثر در افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعه در برابر زلزله مشاهده می‌شود. نتایج، بیانگر این اسـت کـه پیشـران‌هـای

1 Final Reachability Matrix

ضوابط فنی، اصول و الگوهای ساخت‌وساز و کلاس دانه‌بندی با میزان قدرت نفوذ ۱۱، بیشترین تـأثیر و پیشــران‌هـای توزیع خدمات و استحکام بناهای با کاربری عمومی به ترتیب با میزان قدرت نفوذ ۱ و ۳ کمترین تأثیر را دارند.

٤-٤- سطح‌بندی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعه در برابر زلزله

بعد از تدوین ماتریس دسترسی نهایی، پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه مـورد مطالعـه در برابر زلزله، سطح‌بندی می‌شوند. برای تعیین سطح پیشران‌ها در مدل نهایی به ازای هر کدام از آنهـا سـه مجموعـه خروجی، ورودی و مشترک تشکیل می‌شود. مجموعه خروجی (دسترسی) هر پیشران شامل پیشران‌هایی می‌شود کـه از طریق این پیشران می‌توان به آنها رسید و مجموعه ورودی (پیش‌نیاز) شامل پیشران‌هایی می‌شود که از طریق آن‌هـا می‌توان به این پیشران رسید. به عبارت دیگر مجموعه خروجی مجموعه‌ای است که در آن سطرها و عدد پیشــران‌ها به صورت یک و مجموعه ورودی مجموعه‌ای است که در آن ستون‌ها و عدد پیشران‌ها به صورت یک ظـاهر شـده باشند. با به‌دست آوردن اشتراک این دو، مجموعه مشترک به دست می‌آید. به عنوان مثـال، بـر پایـه مـاتریس نهـایی پژوهش حاضر، مجموعه پیش‌نیاز برای پیشران "دسترسی به شبکه معابر اصلی یا C1" مجموعه‌ای از پیشران‌ها است که به‌صورت ستونی زیر آن قرار گرفته‌اند و توانسته‌اند در درایه مشترک خود با این پیشران، عـدد یـک را بـه دسـت آورند. همچنین مجموعه دستیابی برای پیشران "دسترسی به شبکه معابر اصلی یا C1" مجموعه‌ای از پیشران‌ها اسـت که به‌صورت سطری در مقابل آن قرار گرفته و هر کدام توانسته‌اند در درایه مشترک خود با این پیشران عدد یک را به دست آورند. پیشران‌هایی که مجموعه مشترکشان با مجموعه خروجی‌شان یکی باشد، سطح اول اولویت را بـه خـود اختصاص می‌دهند. با حذف این پیشران‌ها و تکرار این فرایند بـرای سـایر پیشــران‌ها، سـطوح سـایر پیشــران‌ها نیـز مشخص می‌شود. سپس بر اساس سطوح تعیین شده و ماتریس نهایی، دیاگرام ISM ترسیم می‌شود. نتـایج حـاکی از آن است که پیشران "کلاس دانه‌بندی"، قوی‌ترین و پرنفوذترین برانگیزاننده افزایش تاب‌آوری کالبـدی نمونـه مـورد مطالعه در برابر زلزله است و همانند سنگ زیربنای مدل عمل می‌کند و بایـد در وهلـه اول بـرای افـزایش و ارتقـای تاب‌آوری کالبدی نمونه مورد پژوهش در برابر مخاطرات زلزله و دست یافتن به آن در افق ١٤٠٤ روی آن تأکید کرد (جدول ۵).

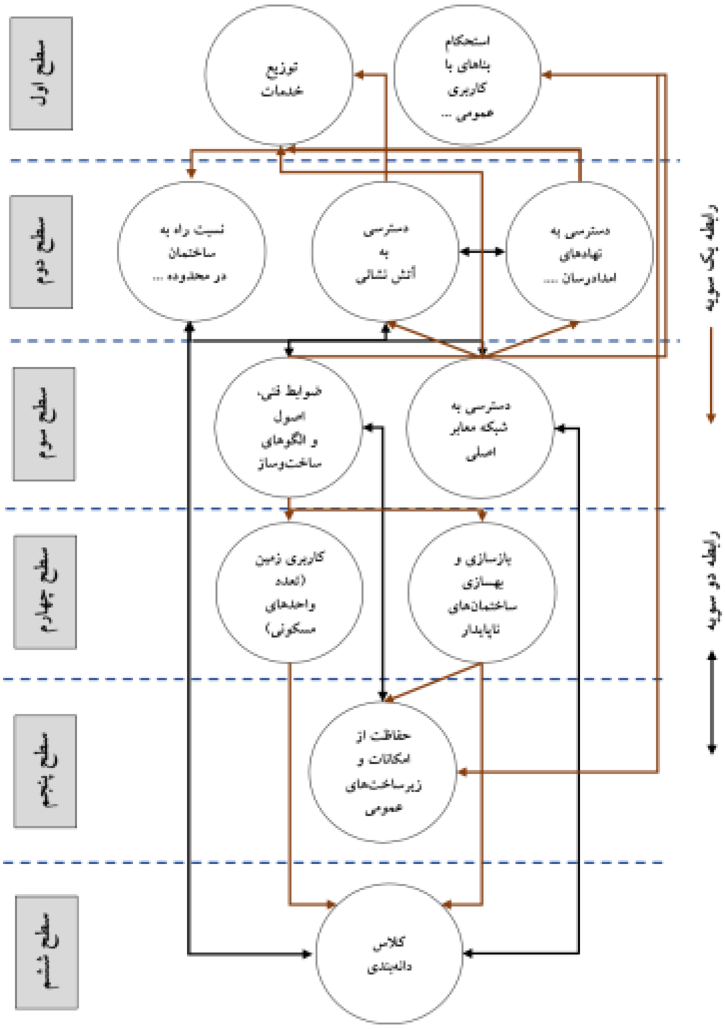
جدول ۵- تعیین سطوح پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی منطقه ۱۰ تهران در برابر زلزله

پیشران‌ها	مجموعه خروجی	مجموعه ورودی	مجموعه مشترک	سطح
C1	۱، ۲، ۳، ٤، ٦، ۹، ۱۱	۱، ۲، ۳، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱	۱، ۲، ۳، ۹، ۱۱	سوم
C2	۱، ۲، ٤، ٦، ۹، ۱۱	۱، ۲، ۳، ٤، ۷، ۸، ۹، ۱۱	۱، ۲، ٤، ۹، ۱۱	دوم
C3	۱، ۲، ۳، ٤، ۵، ٦، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱	۱، ۳، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱	۱، ۳، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱	سوم
C4	۲، ٤، ٦، ۱۱	۱، ۲، ۳، ٤، ۷، ۸، ۹، ۱۱	۲، ٤، ۱۱	دوم
C5	۳، ۵، ۱۰	۳، ۵، ۷، ۹، ۱۰	۳، ۵، ۱۰	اول

پیشران‌ها	مجموعه خروجی	مجموعه ورودی	مجموعه مشترک	سطح
C6	٦	۱، ۲، ۳، ٤، ٦، ۷، ۸، ۹، ۱۱	٦	اول
C7	۱، ۲، ۳، ٤، ٥، ٦، ۷، ۹، ۱۰، ۱۱	۳، ۷، ۹، ۱۰	۳، ۷، ۹، ۱۰	چهارم
C8	۱، ۲، ۳، ٤، ٦، ۸، ۹، ۱۱	۳، ۸، ۹، ۱۰	۳، ۸، ۹	چهارم
C9	۱، ۲، ۳، ٤، ٥، ٦، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱	۱، ۲، ۳، ۷، ۸، ۹، ۱۱	۱، ۲، ۳، ۷، ۸، ۹، ۱۱	ششم
C10	۱، ۳، ٥، ۷، ۸، ۱۰	۳، ٥، ۷، ۹، ۱۰	۳، ٥، ۷، ۱۰	پنجم
C11	۱، ۲، ۳، ٤، ٦، ۹، ۱۱	۱، ۲، ۳، ٤، ۷، ۸، ۹، ۱۱	۱، ۲، ۳، ٤، ۹، ۱۱	دوم

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۰.

همانطور که در جدول ٥ ملاحظه می‌شود، پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعه در برابر زلزله با رویکرد آینده‌نگاری برای افق ۱٤۰٤ در شش سطح طبقه‌بندی شده‌اند. بدین ترتیب که پیشران‌های C5 و C6 در سطح اول، پیشران‌های C2 و C4 و C11 در سطح دوم، پیشران‌های C1 و C3 در سطح سوم، پیشران های C7 و C8 در سطح چهارم، پیشران C10 در سطح پنجم و پیشران C6 در سطح ششم قرار گرفته‌اند. سپس با استفاده از جدول تعیین سطوح و ماتریس دستیابی نهایی نمودار نمایشی پیشران‌ها رسم می‌گردد. در دیاگرام ISM، روابط متقابل و تأثیرگذاری بین پیشران‌های سطوح مختلف آشکار است و همانگونه که مشاهده می‌شود، برخی از پیشران‌ها ارتباط یک‌سویه با سایر پیشران‌ها دارند، به این معنی که یا روی پیشران دیگر تأثیر می‌گذارند یا از پیشران دیگر تأثیر می‌پذیرند. برخی از پیشران‌ها نیز ارتباط دوسویه با سایر پیشران‌ها دارند به این معنی که هم از پیشران دیگر تأثیر می‌پذیرند و هم بر آن تأثیر می‌گذارند و درنهایت برخی پیشران‌ها نیز هیچ ارتباطی با یکدیگر ندارند. برای مثال، پیشران C8 روی پیشران C9 تأثیر می‌گذارد اما از آن تأثیر نمی‌پذیرد (ارتباط یک‌سویه). پیشران‌های C2 و C4 ارتباط دوسویه دارند و پیشران‌های C6 و C10 هیچ ارتباطی با یکدیگر ندارند. سپس در مرحله آخر با استفاده از تحلیل میک‌مک درجه اهمیت پیشران‌ها تعیین می‌گردد. بدیهی است تعیین سطوح پیشران‌ها و ترسیم روابط بین آن‌ها موجب درک بهتر فضای تصمیم‌گیری می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳- مدل‌سازی (سطح‌بندی) ساختاری-تفسیری پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با تأکید بر منطقه ۱۰

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۰.

٤-٥- تحلیل میک‌مک

در این مرحله، با استفاده از ابزار میک‌مک، نوع پیشران‌ها با توجه به اثرگذاری و اثرپذیری آن‌ها بر سایر پیشران‌ها مشخص خواهد شد و پس از تعیین قدرت نفوذ یا اثرگذاری و قدرت وابستگی، تمام پیشران‌های مؤثر در ارتقاء و افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعه در برابر زلزله، با رویکرد آینده‌نگاری در یکی از خوشه‌های چهارگانه با بهره‌گیری از ماتریس اثرات متقابل[1] پیشران‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. در آنالیز این روش باید خطوط مرزی نمودار

1 Cross Impact Analysis

مشخص شود. معمولاً برای تعیین این خطوط از رابطه (N/2)+1 استفاده می‌کنند که در آن N تعداد مؤلفه‌ها می‌باشد و چنانچه عدد بدست آمده، اعشاری باشد به سمت بالا گرد می‌شود. درنهایت عدد به‌دست آمده، خطوط مرزی محورهای افقی و عمودی را مشخص می‌کند. در پژوهش حاضر بر طبق فرمول و برای ۱۱ پیشران موجود، عدد ٦,٥ بدست می‌آید که با گرد کردن به سمت بالا، عدد ۷ انتخاب می‌شود. همچنین قبل از خوشه‌بندی پیشران‌های کلیدی، بایستی تابلوی میزان وابستگی و قدرت نفوذ پیشران‌ها ترسیم گردد.

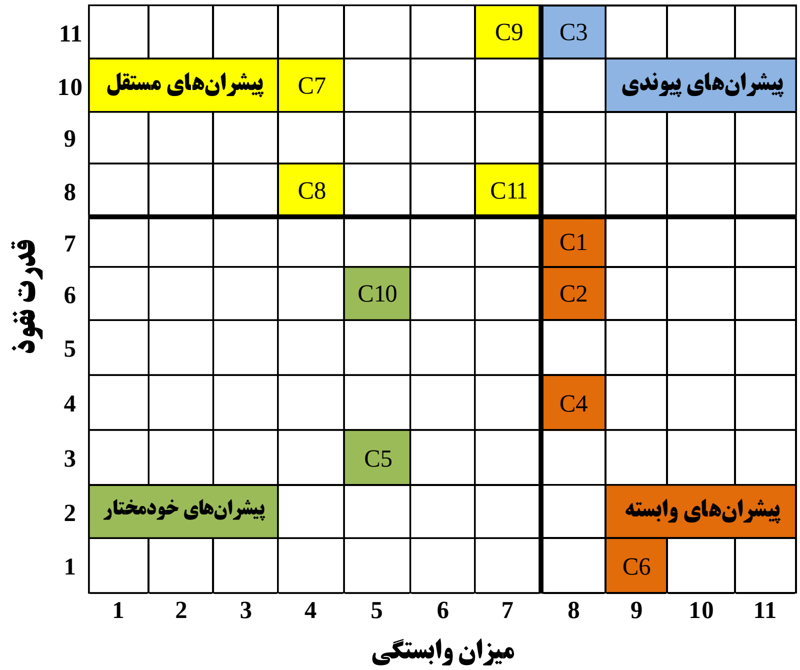
جدول ٦- تابلوی میزان وابستگی و قدرت نفوذ پیشران‌ها

پیشران	Driving forces قدرت نفوذ	Dependent forces میزان وابستگی
C1	7	8
C2	6	8
C3	11	8
C4	4	8
C5	3	5
C6	1	9
C7	10	4
C8	8	4
C9	11	7
C10	6	5
C11	7	8

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۰.

با ترسیم نمودار خوشه‌بندی پیشران‌های کلیدی، پرواضح است که پیشران‌های ۱) ایجاد دسترسی به شبکه معابر اصلی، ۲) دسترسی به نهادهای امدادرسان (مرکز مدیریت بحران و...)، ٤) دسترسی به آتش‌نشانی و ٦) توزیع خدمات بیشتر از سایر پیشران‌ها متأثر بوده و از لحاظ سیستمی جزو عناصر اثرپذیر و وابسته هستند. پیشران‌هایی نظیر ۷) بازسازی و بهسازی ساختمان‌های ناپایدار، ۸) کاربری زمین (تعدد واحدهای مسکونی)، ۹) کلاس دانه‌بندی و ۱۱) نسبت راه به ساختمان در محدوده موردمطالعه جزو پیشران‌های مستقل (اصلی) برای افزایش تاب‌آوری کالبدی در برابر زلزله به‌شمار می‌روند که قدرت نفوذ زیادی دارند. پیشران‌های ۵) استحکام بناهای با کاربری عمومی (مدرسه، بیمارستان) و ۱۰) حفاظت از امکانات و زیرساخت‌های عمومی (از مقاوم‌سازی تا بازسازی) در گروه پیشران‌های خودمختار قرار گرفتند که قدرت نفوذ و وابستگی ضعیف‌تری دارند. همچنین پیشران ۳) ضوابط فنی، اصول و الگوهای ساخت‌وساز، پیشران پیوندی محسوب می‌شود و از قدرت نفوذ و وابستگی زیادی برخوردار است. قدرت

نفوذ و میزان وابستگی هر یک از پیشران‌های مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی در برابر زلزله در شکل ٤ نشان داده شده است.



شکل ٤- خوشه‌بندی پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی = نمونه موردمطالعه در برابر زلزله با رویکرد آینده‌نگاری به روش میک‌مک

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۰.

٥- بحث و جمع‌بندی

ارتقاء و افزایش تاب‌آوری کالبدی شهرها با رویکرد آینده‌نگارانه نیازمند تبیین پیشران‌های کلیدی، بنیادی و اثرگذار و کشف ارتباط بین آن‌هاست. این پژوهش بینش و شناختی جدید از ماهیت تاب‌آوری کالبدی بافت متراکم شهری در برابر مخاطرات زلزله ارائه کرده است که موجب تشخیص اولویت‌های اقدام در فضای تصمیم‌گیری می‌شود. سؤال اصلی این پژوهش آن بود که مهم‌ترین پیشران‌های کلیدی مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعه در برابر زلزله در شرایط عدم قطعیت محیطی چیست و روابط بین آن‌ها چگونه تبیین و تحلیل می‌گردد؟ در این پژوهش، با استفاده از نظر متخصصان (۲۰ نفر از خبرگان دانشگاهی که به روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شده‌اند) و مرور ادبیات نظری و همچنین با استفاده از تکنیک دلفی، ۱۱ پیشران مؤثر بر افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعه در برابر زلزله شناسایی شدند. سپس پیشران‌ها با استفاده از میزان قدرت نفوذشان بر یکدیگر، در شش عرصه سطح‌بندی شدند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که پیشران "کلاس دانه‌بندی" با میزان قدرت نفوذ ۱۱

بیشترین تأثیر و پیشران‌های "توزیع خدمات" و "استحکام بناهای با کاربری عمومی" به ترتیب با میزان قدرت نفوذ ۱ و ۳ کمترین تأثیر را در آینده تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعه در برابر زلزله دارند. البته شایان ذکر است که بالا بودن قدرت نفوذ یک پیشران به تنهایی نمی‌تواند نشان از تأثیرگذاری صرف آن بر سایر پیشران‌ها باشد، بلکه در کنار قدرت نفوذ می‌بایست روابط یک‌سویه و دوسویه پیشران‌ها نیز موردتوجه قرار گیرند. نتایج حاصل از جدول سطح‌بندی نشان می‌دهد که پیشران‌هایی که با سایر پیشران‌ها ارتباط بیشتری دارند و روی آن‌ها تأثیر می‌گذارند، از اهمیت بیشتری برخوردارند. پیشران "کلاس دانه‌بندی" به علت اینکه از سایر پیشران‌ها تأثیرپذیری کمتری دارد؛ (تأثیرپذیری کمتر به این معنی است که پیشران مورد نظر از سایر پیشران‌ها در ارتباط با موضوع تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعه در برابر زلزله کمتر مؤثر می‌شود)؛ لذا به همین خاطر در سطح ششم قرار می‌گیرد. در سطح پنجم پیشران "حفاظت از امکانات و زیرساخت‌های عمومی (از مقاوم‌سازی تا بازسازی)" قرار دارد که با یک پیشران در سطح سوم رابطه دوسویه دارد. در سطح چهارم پیشران‌های "بازسازی و بهسازی ساختمان‌های ناپایدار" و "کاربری زمین (تعدد واحدهای مسکونی)" قرار گرفته‌اند که هیچ رابطه متقابلی بین این دو پیشران وجود ندارد. در سطح سوم دو پیشران "دسترسی به شبکه معابر اصلی" و "ضوابط فنی، اصول و الگوهای ساخت‌وساز" قرار دارند که اگرچه بین این دو پیشران رابطه متقابلی وجود ندارد اما پیشران "ضوابط فنی، اصول و الگوهای ساخت‌وساز" از قدرت نفوذ قابل توجهی برخوردار است. در سطح دوم سه پیشران "دسترسی به نهادهای امدادرسان (مرکز مدیریت بحران و...)"، "دسترسی به آتش‌نشانی" و "نسبت راه به ساختمان در محدوده موردمطالعه" قرار گرفته‌اند که بین دو پیشران با موضوع دسترسی رابطه متقابل وجود دارد. پیشران‌های سطح اول که بالاترین قسمت نمودار را تشکیل می‌دهند و شامل "استحکام بناهای با کاربری عمومی (مدرسه، بیمارستان)" و "توزیع خدمات" هستند، به سایر پیشران‌های کلیدی وابسته هستند و از اثرگذاری کمتری برخوردارند. درنهایت مبتنی بر تحلیل میک‌مک نیز خوشه‌بندی پیشران‌ها تعیین گردید. پیشران‌های خوشه مستقل شامل پیشران‌های "بازسازی و بهسازی ساختمان‌های ناپایدار"، "کاربری زمین (تعدد واحدهای مسکونی)"، "کلاس دانه‌بندی" و "نسبت راه به ساختمان در محدوده موردمطالعه" اثرگذاری بالایی دارند و کمترین اثر را از سایر پیشران‌ها می‌پذیرند، به همین دلیل هرگونه اقدام برای افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعه در برابر زلزله، مستلزم توجه بسیار زیاد به این نوع از پیشران‌ها است. پیشران‌های خوشه پیوندی فقط شامل پیشران "ضوابط فنی، اصول و الگوهای ساخت‌وساز" است که دارای قدرت نفوذ با وابستگی زیادی است که علاوه بر تأثیر بر سایر پیشران‌ها از آن‌ها نیز متأثر می‌شود. پیشران‌های خوشه وابسته شامل "دسترسی به شبکه معابر اصلی"، "دسترسی به نهادهای امدادرسان (مرکز مدیریت بحران و...)"، "دسترسی به آتش‌نشانی" و "توزیع خدمات" دارای قدرت نفوذ کم، ولی وابستگی زیادی هستند که نشان‌دهنده این است که بیشتر به سایر پیشران‌ها وابسته‌اند و بنابراین، انتخاب آن‌ها تحت تأثیر سایر پیشران‌هاست. درنهایت پیشران‌های خوشه خودمختار

شامل پیشران‌های "استحکام بناهای با کاربری عمومی (مدرسه، بیمارستان)" و "حفاظت از امکانات و زیرساخت‌های عمومی (از مقاوم‌سازی تا بازسازی)" هستند که توأمان میزان وابستگی و قدرت نفوذ کمی دارند. این پیشران‌ها عموماً از سیستم جدا می‌شوند زیرا دارای اتصالات و روابط ضعیفی با سایر پیشران‌ها هستند.

با مقایسه نتایج و پیشینه پژوهش، روابط مبهم بین پیشران‌های مؤثر جهت افزایش تاب‌آوری کالبدی نمونه موردمطالعه در برابر زلزله مشخص گردید و مدلی جامع و متمایز با مدل‌های موجود در زمینه آمادگی مواجهه با مخاطرات محیطی همچون زلزله با سلسله مراتب و همچنین روابط مشخص، ارائه شد. مدل ارائه شده خلاء موجود در زمینه پژوهش را که ناشی از ابهام روابط بین پیشران‌ها و نیز مشخص نبودن سلسله مراتب بین پیشران‌ها است، مرتفع نمود. در پایان بر اساس یافته‌های پژوهش و روابط بین پیشران‌ها، اقدامات زیر به‌عنوان تصمیمات مؤثر در جهت افزایش تاب‌آوری کالبدی محدوده موردمطالعه پیشنهاد می‌گردد:

- برنامه‌ریزی صحیح کاربری زمین از قبیل ضوابط تفکیک به‌منظور کاهش شدت آسیب‌های ساختمانی و تلفات در مواقع بروز بحران؛
- استفاده بهینه از ابزار کارآمد "کلاس دانه‌بندی" در برنامه‌ریزی تغییرات کاربری زمین برای به حداقل رساندن آسی‌بهای ناشی از مخاطرات زلزله؛
- خلق و تولید الگو در تمام ابعاد مقاوم‌سازی بناها نظیر؛ تولید طرح، تولید زمین، تولید سرمایه و تولید ساختمان؛
- افزایش استحکام بناها و نفوذپذیری به بافت به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری منطقه در مقابل خطرات تخریب و اثرات جانبی زلزله؛
- بالا بردن ظرفیت انعطاف‌پذیری و نفوذپذیری تأسیسات منطقه و تجهیزات امداد و نجات در کنار توجه به تغییر کالبد.

کتابنامه

آتش‌سوز، علی؛ فیضی، کامران؛ کزازی، ابوالفضل؛ الفت، لعیا؛ ۱۳۹۵. مدل سازی تفسیری-ساختاری ریسک‌های زنجیره تأمین صنعت پتروشیمی. *نشریه علمی- پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی*. دوره ۱٤. شماره ٤۱. صص ۳۹-٦۳. https://doi.org/10.22054/jims.2016.4168

آذر، عادل؛ خسروانی، فرزانه؛ جلالی، رضا؛ ۱۳۹۸. *تحقیق در عملیات نرم رویکردهای ساختاردهی مسئله*. چاپ چهارم. انتشارات سازمان مدیریت صنعتی. تهران.

البرزی، هادی؛ علی‌عسکری، عبدالعلی؛ صلواتیان، سیاوش؛ ۱۳۹۱. آینده‌پژوهی راهبردی صداوسیمای جمهوری اسلامی ایران در فضای اینترنت، *نخستین همایش ملی آینده‌پژوهی جمهوری اسلامی ایران با رویکرد تمدن‌سازی نوین*

اسلامی، تهران. https://civilica.com/doc/242386

ایجابی، ابراهیم؛ درویشی سه‌تلانی، فرهاد؛ مینایی، حسین؛ فضلی، صفر؛ کشاورز، عین‌اله؛ ۱۳۹۹. طراحی چارچوب آینده‌نگاری راهبردی فناوری‌های دفاعی در حوزه پدافند هوایی به روش مدل‌سازی ساختاری- تفسیری. *فصلنامه علمی پژوهشی آینده‌پژوهی دفاعی*. دوره ۵. شماره ۱۶. صص ۱۴۳-۱۶۹.
https://doi.org/10.22034/DFSR.2020.39784

پوراحمد، احمد؛ زیاری، کرامت‌اله؛ ابدالی، یعقوب؛ الهقلی‌پور، سارا؛ ۱۳۹۸. تحلیل معیارهای تاب‌آوری در بافت فرسوده شهری در برابر زلزله با تأکید بر تاب‌آوری. *فصلنامه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*. شماره ۳۶. صص ۱- ۲۱. http://jupm.marvdasht.iau.ir/article_3408.html

حاتمی‌نژاد، حسین؛ فرهادی‌خواه، حسین؛ آروین، محمود؛ رحیم‌پور، نگار؛ ۱۳۹۶. بررسی ابعاد مؤثر بر تاب‌آوری شهری با استفاده از مدل ساختاری-تفسیری (نمونه موردی: شهر اهواز). *فصلنامه علمی دانش پیشگیری و مدیریت بحران*. دوره ۷. شماره ۱. صص ۳۵-۴۵. http://dpmk.ir/article-1-112-fa.html

داداش‌پور، هاشم؛ عادلی، زینب؛ ۱۳۹۴. سنجش ظرفیت‌های تاب‌آوری در مجموعه شهری قزوین. *دو فصلنامه علمی ـ پژوهشی مدیریت بحران*. دوره ۴. شماره ۲. صص ۷۳-۸۴. http://www.joem.ir/article_18579.html

ربانی، طاها؛ ۱۳۹۰. روش تحلیل ساختاری، ابزاری برای شناخت و تحلیل متغیرهای مؤثر بر آینده موضوعات شهری. *اولین همایش ملی آینده‌پژوهی*. تهران. https://civilica.com/doc/242374

رضایی، محمدرضا؛ رفیعیان، مجتبی؛ حسینی، سید مصطفی؛ ۱۳۹۴. سنجش و ارزیابی میزان تاب‌آوری کالبدی اجتماع‌های شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: محله‌های شهر تهران). *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای انسانی*. دوره ۴۷. شماره ۴. صص ۶۰۹-۶۲۳. https://doi.org/10.22059/JHGR.2015.51228

رفیعیان، مجتبی؛ رضایی، محمدرضا؛ عسگری، علی؛ پرهیزکار، اکبر؛ شایان، سیاوش؛ ۱۳۹۰. تبیین مفهومی تاب‌آوری و شاخص‌سازی آن در مدیریت سوانح اجتماع محور (CBDM). *فصلنامه علمی پژوهشی برنامه‌ریزی و آمایش فضا*. دوره ۱۵. شماره ۴. صص ۱۹-۴۱. https://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-9255-fa.html

رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا و صادقلو، طاهره؛ ۱۳۹۷. *تاب‌آوری اجتماعات محلی در برابر مخاطرات محیطی*. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. تهران.

زالی، نادر؛ منصوری، سارا؛ ۱۳۹۳. تحلیل عوامل کلیدی مؤثر بر توسعه حمل‌ونقل پایدار در افق ۱۴۰۴ کلانشهر تهران (روش تحلیل ساختاری). *فصلنامه علمی برنامه‌ریزی و آمایش فضا*. شماره ۲. صص ۱-۳۲.
https://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-8161-fa.html

ساسان‌پور، فرزانه؛ سلیمانی، محمد؛ ضیائیان، پرویز؛ دلفان‌آذری، زهرا؛ ۱۳۹۴. جایگاه محله در توسعه پایدار شهر (مطالعه موردی: محله‌های منطقه ۱۰ شهرداری تهران). *فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش‌های جغرافیایی انسانی*. دوره ۴۷. شماره ۱. صص ۱۵۹-۱۷۶. https://doi.org/10.22059/JHGR.2015.51280

سلمانی، محمد؛ بدری، سیدعلی؛ مطوف، شریف؛ کاظمی ثانی عطاالله، نسرین؛ ۱۳۹۴. ارزیابی رویکرد تاب‌آوری

جامعه در برابر مخاطرات طبیعی موردمطالعه: شهرستان دماوند. *فصلنامه علمی-پژوهشی مدیریت مخاطرات محیطی*. دوره ۲. شماره ٤. صص ۳۹۳-٤۰۹.https://doi.org/10.22059/JHSCI.2015.58266

صفاری، حمید؛ پولادوند، محمدحسین؛ ۱۳۹٦. ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر تهران بر اساس تحلیل خطر قطعی و شاخص‌های لرزه‌ای مناطق همجوار گسل. *نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت*. دوره ٤. شماره ۳. صص ۱۰۹-۱۲۸.https://doi.org/10.22065/JSCE.2017.79793.1112

فتحی، الهام؛ ۱۳۹۷. روند تحولات جمعیت شهر تهران: از گذشته تا آینده. *دو ماهنامه تحلیلی-پژوهشی آمار*. سال ششم. شماره ۱. صص ۳۲-۳۵.https://amar.srtc.ac.ir/article-1-349-fa.html

غفاری، عطا؛ پاشازاده، اصغر؛ آقایی، واحد؛ ۱۳۹٦. سنجش و اولویت‌بندی تاب‌آوری شهری در مقابل زلزله (نمونه موردی: شهر اردبیل و مناطق چهارگانه آن). *نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و مخاطرات محیطی*. دوره ٦. شماره ۲۱. صص ٤٥-٦٥.https://doi.org/10.22067/GEO.V6I1.48413

لطیفی، امین؛ ۱٤۰۰. *آینده‌نگاری سناریومبنا به‌منظور تبیین مؤلفه‌های افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در مقابله با زلزله (نمونه موردی: منطقه ۱۰)*. رساله دکتری شهرسازی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب. دانشکده هنر و معماری. گروه شهرسازی. به راهنمایی دکتر کرامت‌اله زیاری.

لطیفی، امین؛ زیاری، کرامت‌اله؛ نادری، سید مجید؛ ۱٤۰۰. تبیین مؤلفه‌های کلیدی افزایش تاب‌آوری کالبدی شهر تهران در برابر زلزله با رویکرد تحلیل ساختاری (مطالعه موردی: منطقه ۱۰). *نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و مخاطرات محیطی*. دوره ۱۰. شماره ۱. صص ۱٦۱-۱۸۲.
https://doi.org/10.22067/GEOEH.2021.69072.1026

لنگرنشین، علی؛ ارغان، عباس؛ کرکه آبادی، زینب؛ ۱۳۹۸. سنجش شاخص‌ها و الگوهای اثرگذار در تاب‌آوری بافت‌های شهری (مطالعه موردی محلات تجریش، جنت‌آباد شمالی و فردوسی شهر تهران). *فصلنامه علمی پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی*. دوره ۱۱. شماره ٤۳. صص ۲٤٥-۲۷۰.
https://geography.garmsar.iau.ir/article_665983.html

محمدی، سعدی؛ منوچهری، سوران؛ ۱۳۹۷. تحلیلی بر ارتباط زیست‌پذیری و تاب‌آوری جوامع روستایی (مطالعه موردی: روستاهای شهرستان مریوان). *فصلنامه علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی*. دوره ۸. شماره ٤. صص ۸۹-۱۱۰.https://doi.org/10.22108/sppl.2018.110922.1207

منزوی، مهشید؛ سلیمانی، محمد؛ تولایی، سیمین؛ چاووشی، اسماعیل؛ ۱۳۸۹. آسیب‌پذیری بافت‌های فرسوده بخش مرکزی شهر تهران در برابر زلزله (مطالعه موردی: منطقه ۱۲). *فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش‌های جغرافیای انسانی*. دوره ٤۲. شماره ۷۳. صص ۱-۱۸.https://jhgr.ut.ac.ir/article_24467.html

مهندسان مشاور بوم سازگان؛ ۱۳۸٥. *گزارش طرح جامع (راهبردی- ساختاری) شهر تهران*.

نبوی رضوی، هاله سادات؛ حبیبی، سید محسن؛ طبیبیان، منوچهر؛ ۱۳۹۷. نقش ساختار شهر در تاب‌آوری آن در برابر زلزله. *فصلنامه علمی پژوهشی هویت شهر*. دوره ۱۲. شماره ۳٥. صص ۲۹-۳۸.
https://hoviatshahr.srbiau.ac.ir/article_13395.html

نوری، محبوبه؛ رضایی، محمدرضا؛ عسگری، ابراهیم؛ ۱۳۹۹. مدل‌سازی ساختاری-تفسیری عوامل مؤثر بر تاب‌آوری کالبدی و اجتماعی شهر شیراز در برابر سانحه طبیعی سیل. *دو فصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیای اجتماعی شهری*. دوره ۷. شماره ۱۷. صص ۱۴۹-۱۷۲. https://jusg.uk.ac.ir/article_2695.html

یاراحمدی، منصوره؛ نیک‌پور، عامر؛ لطفی، صدیقه؛ ۱۳۹۸. بررسی میزان تاب‌آوری کالبدی شهر در برابر زلزله (موردمطالعه: نورآباد ممسنی). *فصلنامه علمی-پژوهشی کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*. دوره ۷. شماره ۲. صص ۱۴۷-۱۷۱. http://grd.yazd.ac.ir/article_1725.html

Alexander, D., 2014. Resilience and disaster risk reduction: An etymological journey. *Natural Hazards and Earth System Science*. 1(2):1257-1284. https:// doi.org/ 10.5194/nhessd-1-1257-2013

Boston, M., 2017. Building Resilience Through Design: Improving Post-Earthquake Function of Hospital, Ph.D Thesis, Advisor Judith Mitrani, Department Of Civil Engineering, *Johns Hopkins University*.

Charleson, A., Kusliansjah, K., Widjaja, P., 2018. Improving the seismic resilience of housing in developing countries: time to transform local government building departments, *MATEC Web of Conferences*, 229, 1-7.https://doi.org/10.1051/matecconf/201822903017

Cutter, S. L., 2015. The Landscape of Disaster Resilience Indicators in the USA. *Natural Hazards*, 80, 741–758.https://doi.org/10.1007/s11069-015-1993-2

Feofilovs, M., & Romagnoli, F., 2020. Assessment of Urban Resilience to Natural Disasters with a System Dynamics Tool: Case Study of Latvian Municipality, *Journal of Environmental and Climate Technologies*, vol. 24, No. 3, pp. 249–264. https:// doi.org/ 10.2478/rtuect-2020-0101

Gonçalves, L. A. P. J., & Ribeiro, P. J. G., 2020. Resilience of urban transportation systems. Concept, characteristics, and methods. *Journal of Transport Geography*, 102727.https:// doi.org/ 10.1016/ j.jtrangeo.2020.102727

Govindan, K., Palaniappan, M., Zhu, Q. and Kannan, D., 2012. Analysis of third party reverse logistics provider using interpretive structural, *International Journal of Production Economics*, 140(1): 204- 211.https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.01.043

Gunderson, L.H., 2010. Ecological and human community resilience in response to natural disasters. *Ecology and Society*. 15(2): 323-331.https://doi.org/10.5751/ES-03381-150218

Kanno, Y. Fujita, S. & Ben-Haim, Y., 2017. Structural design for earthquake resilience: Info-gap management of uncertainty, *Journal of Structural Safety*, Volume 69, 23-33. https:// doi.org/ 10.1016/j.strusafe.2017.07.004

Martinelli, D., G. P. Cimellaro, V. Terzic, and S. Mahin., 2014. Analysis of economic resiliency of communities affected by natural disasters: the bay area case study. *Procedia Economics and Finance*,18: 959-968.https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)01023-5

Mitchell, T., Harris, K.(2012), Resilience: a risk management approach, *International Journal of Remote Sensing*, 32: 713-821. http:// cdn- odi- production. s3. amazonaws. com/ media/ documents/ 7552.pdf

Robinson, T. R., 2020. Scenario ensemble modelling of possible future earthquake impacts in Bhutan, *Journal of Natural Hazards*, Volume 103, 3457-3478. https:// doi.org/ 10.1007/ s11069- 020- 04138- x